

## OPTICAL CONTROLLING ELEMENT

Patent Number: JP61221726  
Publication date: 1986-10-02  
Inventor(s): FUJIWARA MASAHIKO  
Applicant(s):: NEC CORP  
Requested Patent: ☐ JP61221726  
Application Number: JP19850062429 19850327  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G02F1/015 ; G02B6/12  
EC Classification:  
Equivalents: JP1934703C, JP6056458B

### Abstract

**PURPOSE:** To form the optical controlling element having a small in a size, and a very high speed with a low voltage and capable of optically modulating with a high modulation degree by inclining a direction of an electric field applied to a part of transferring a light in a multiple quantum well type structure against an each layers of the structure.

**CONSTITUTION:** The channel optical waveguide 36 leads a light lying in near to an excition resonance absorption wavelength in the i-multiple quantum type structure 6. When a reversed bias voltage is impressed to between the electrode 35a or 35b and the electrode 36, a depletion layer is formed in front parts of P<+>-diffusion ranges 34a, 34b, and the electric field acts in the depletion layer. The channel optical waveguide 36 is positioned near to edges of P<+>-diffusion ranges 34a, 34b, and the slant electric field is applied to the optical waveguide from a direction of the thickness of an epitaxial layer. The effects of the electric fields in the vertical and the horizontal directions are jointly applied to each layers of the multiple quantum well type structure, thereby enabling to modulate at a low voltage. As the strength of the electric field in an edge part of the diffusion front part is usually high in comparison with that of the center of the diffusion front part, the lower voltage can be applied to the titled element.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

Partial Translation of JP61221726

(P2, upper right column line 19 ~ lower left column line 7)

5

Fig.3 shows well-known structure of a electrical absorption light modulator. An  $n^+$ -GaAs buffer layer 2, an  $n^+$ -AlGaAs etching stop layer 3, an  $n^+$ -AlGaAs/GaAs super lattice contact layer 4, an i-AlGaAs/GaAs super lattice  
10 buffer layer 5, an i-AlGaAs/GaAs multi quantum well layer 6, an i-AlGaAs/GaAs super lattice buffer layer 7, a  $p^+$ -AlGaAs/GaAs super lattice contact layer 8, a  $p^+$ -AlGaAs contact layer 9 are growth in turn on an  $n^+$ -GaAs substrate by Molecular Beam Epitaxy.

15

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-221726

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)10月2日

G 02 F 1/015  
G 02 B 6/12

C-7448-2H  
8507-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全6頁)

⑭ 発明の名称 光制御素子

⑮ 特 願 昭60-62429

⑯ 出 願 昭60(1985)3月27日

⑰ 発 明 者 藤 原 雅 彦 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内  
⑱ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号  
⑲ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

明 細 書

1. 発明の名称 光制御素子

2. 特許請求の範囲

ドプロイ波長程度の厚みの第1の半導体層を前記第1の半導体層よりバンドギャップの広い第2の半導体層によりはさんだ量子井戸を層厚方向に多重に有する多重量子井戸構造と、前記多重量子井戸構造の各層に水平若しくは前記多重量子井戸構造を横切るように光を伝搬させる手段と、前記多重量子井戸構造の光の伝搬する部分に電界を印加する手段とを有し、前記電界を印加する手段により印加される電界の方向が前記多重量子井戸構造各層に対して傾いていることを特徴とする光制御素子。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は変調、スイッチ動作等を行なうための

光制御素子に関するものである。

(従来技術とその問題点)

近年の画像情報等の高速/広帯域の信号を取り扱う光伝送ネットワークの構想等により、光伝送システムの高速/広帯域化への要求が強まっている。現在の光伝送システムで光源として用いられている半導体レーザ(LD)は小型で高効率、直接変調が可能等の優れた点を持っているが、数GHz以上の帯域では直接変調可能な周波数の上限に近づくことや、直接変調時の波長変動等のため、次第に直接変調が難しくなってくる。この問題を解決する一つの方法として直流駆動したLDと超高速の外部変調器を組み合わせて用いることが考えられており、そのため、小型で低電圧駆動可能な超高速外部変調器が求められている。このような超高速外部変調器を実現する手段としてはキャリアの移動をとまわらない電気光学効果、フランツ・ケルディッシュ効果等を利用することが考えられている。

電気光学効果を利用した変調器ではLiNbO<sub>3</sub>基板

上の  $\text{Ti}$  拡散導波路を用いた分岐干渉型、方向性結合器型の進行波電極構造のもので  $20\text{GHz}$  近い変調帯域が得られているが、実用的な  $4\text{V}$  程度以下の変調電圧を得るためには  $10\mu\text{m}$  程度以上の素子長が必要となり、小型化は難しい。このような変調器については雑誌「アプライド・フィジクス・レターズ (Applied Physics Letters)」第43巻、1983年 998～1001頁に掲載の C.M. ギー (C.M. Gee) 他による論文と、雑誌「アイ・イー・イー・ジャーナル・オブ・クванタム・エレクトロニクス (IEEE Journal of Quantum Electronics)」第19巻、1983年、1339～1341頁に掲載の R.C. アルファーンネス (R.C. Alfarness) 他による論文に於て詳しく述べられている。

一方フランツ・ケルディッシュ効果を利用したものは雑誌「アプライド・フィジクス・レターズ (Applied Physics Letters)」第28巻、1976年 544～546頁に掲載の G.E. スティルマン (G.E. Stillman) 他による論文で  $1\mu\text{m}$  以下の素子で消光比  $\sim 20\text{dB}$ 、立上り時間  $1\text{nsec}$  以下という特

性が報告されているが、一般に変調電圧が高く、高速信号の電圧 (一般に  $2\text{V}$  程度以下) を考えると実際に超高速の変調動作を得ることは難しい。

これに対し1984年6月に米国で開かれた「レーザーと電気光学に関する会議 '84 (Conference on Lasers and Electro-Optics '84)」に於て発表された T.H. ウッド (T.H. Wood) 他による論文では通常のフランツ・ケルディッシュ効果とは異なる  $\text{GaAlAs}/\text{GaAs}$  多重量子井戸構造に於ける電界吸収効果を利用した変調器により  $100\text{psec}$  以下の立上り、立下り応答を得たことが報告されている。この変調器の構造、動作原理については雑誌「アプライド・フィジクス・レターズ (Applied Physics Letters)」第44巻、1984年16～18頁に掲載の T.H. ウッド (T.H. Wood) 他による論文 (以下文献1) と略す) で詳しく述べられているが、ここでもその論文をもとにこの変調器の構造、動作原理について説明する。

第3図は従来既知の電界吸収型光変調器の構造を示すものである。 $\text{n}^+\text{GaAs}$  基板1の上に  $\text{n}^+\text{GaAs}$

バッファ層2、 $\text{n}^+\text{AlGaAs}$  エッチ・ストップ層3、 $\text{n}^+\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$  超格子コンタクト層4、 $\text{i-AlGaAs}/\text{GaAs}$  超格子バッファ層5、 $\text{i-AlGaAs}/\text{GaAs}$  多重量子井戸層6、 $\text{i-AlGaAs}/\text{GaAs}$  超格子バッファ層7、 $\text{p}^+\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$  超格子コンタクト層8、 $\text{p}^+\text{AlGaAs}$  コンタクト層9が分子線エビタキシャル (MBE) 法により成長されている。エビタキシャル層例は  $\text{n}^+\text{GaAs}$  基板1底面柱状にエッチングされ、メサ型  $\text{p-i-n}$  ダイオードを形成している。この光変調器ではエビタキシャル層に垂直に信号光を透過するので  $\text{p}^+\text{AlGaAs}$  コンタクト層9には中央部に光の透過用の穴を設けたオーム性電極10が形成されている。一方  $\text{n}^+\text{GaAs}$  基板9側も基板による光の吸収を除くため、光の通路に当たる部分を  $\text{n}^+\text{GaAs}$  バッファ層2迄エッチングにより除き基板下部にオーム性電極11が形成されている。被変調光  $20a$  はエビタキシャル層側からビーム状に変調器に入射し、基板側から変調光  $20b$  が取り出される。

次にこの変調器の動作原理について説明する。

第3図に示す構造は  $\text{p-i-n}$  ダイオード構造となっているので、電極10、11の間に逆バイアスを印加すると、高抵抗な  $\text{i}$  層の部分に電界が印加される。第4図は電界の有無による多重量子井戸 (MQW) 層内の1つの量子井戸のエネルギー・バンド状態を説明するための図である。量子井戸構造では  $\text{GaAs}$  ウェルの中に電子とホールが閉じ込められ、それぞれのエネルギー単位が離散化して  $E_n$ ,  $E_n'$  という単位を形成する。(a) この単位のエネルギー、数はウェルとバリアのバンドギャップ、ウェル層厚等により異なるが、ここでは簡単のため電子、ホールにそれぞれ1つの単位が形成されたとした。このようなMQW層に垂直に電界を印加するとポテンシャル全体が電界強度に応じて傾斜し波動関数のしみ出しにより量子化された単位のエネルギーが変化し、見かけ上のバンドギャップが小さくなる(b)。つまりMQW層に垂直な方向の電界によりバンドギャップを制御できることになり、バンドギャップ波長近傍の光に対してはこの現象を利用した変調器が可能となる。この

現象はバルクのフランチ・ケルディッシュ効果と非常に類似したものであるが、MQW構造をとることにより変調の効率を大幅に高めることができる。第5図は文献1)で報告されている第3図に示した構造の変調器の光透過率の波長特性を示したものである。MQW構造をとることにより室温でもエキシトンが安定に存在出来、ヘビー・ホール(HH)、ライト・ホール(LH)に対応したエキシトン共鳴吸収ピークが明確にあらわれている。電界の印加と共にそのピークが低エネルギー側にシフトしていくのがわかり、この効果が固定した波長の光に対しての変調器に利用できることを示している。この効果はフランチ・ケルディッシュ効果同様超高速応答が可能で電界印加のため電気系のCR時定数を小さくすることにより実際に100psoc以下の立上り、立下りが得られている。しかも光路長は $\mu\text{m}$ のオーダーであり非常に小型の変調器が得られる。

しかしながらこのMQW構造の電界吸収効果はバルクのフランチ・ケルディッシュ効果に比べ変調効率は高いとは言え、真の高速応答のための低電圧化にはまだ不十分である。第5図からもわかるように例えば被変調光の波長を853nm(光子エネルギー1.454eV)に選んでも8Vの電圧印加により得られる変調度は $\sim 50\%$ にしかない。

#### (発明の目的)

本発明の目的は上述のような問題を除去し、小型で低電圧で超高速、高変調度の光変調が可能なる光制御素子を得供することにある。

#### (発明の構成)

本発明は、ドブroy波長程度の厚みの第1の半導体層を前記第1の半導体層よりバンドギャップの広い第2の半導体層によりはさんだ量子井戸を層厚方向に多重に有する多重量子井戸構造と、前記多重量子井戸構造の各層に水平若しくは前記多重量子井戸構造を横切るように光を伝搬させる手段と、前記多重量子井戸構造の光の伝搬する部分に電界を印加する手段とを有し、前記電界を印加する手段により印加される電界の方向が前記多重量子井戸構造の各層に対して傾いている構成とな

エネルギーバンド構造には全く影響を与えないが、エキシトン内のクーロン・ポテンシャル形状を大きく変形させる。電界によるエネルギーがエキシトンのイオン化エネルギーより大きくなればエキシトンは消滅し、当然対応する共鳴吸収ピークも消失する。第6図は文献2)で報告されているMQWに水平な方向の電界によるMQWに垂直に透過する光に対する吸収係数スペクトルを示している。ここでも、ヘビー・ホール(HH)、ライト・ホール(LH)に対応した共鳴吸収ピークが現われており、電界の印加によりそのピークが低エネルギー側にシフトし、吸収係数自体も減少していくのがわかる。

以上のことと、先に説明したMQWに垂直な方向の電界の効果を併せて考えるとどちらの方向の電界に対してもエキシトンの共鳴吸収ピークは電界により低光子エネルギー側にシフトし、吸収係数自体も小さくなっていくことがわかる。従ってMQWに水平、垂直な方向の電界の効果を併用することにより相加的、相乗的に変調効率を高める

#### (発明の原理)

MQWへの電界印加効果のうちMQW層に垂直に電界を印加した場合については既に説明した。MQW層に水平に電界を印加した場合にはこれとは全く異なる機構による効果が現われることが知られている。この点については雑誌「アプライドフィジクス・レターズ(Applied Physics Letters)第42巻、1983年864~866頁に掲載のD.S.チェムラ(D.S. Chemla)他による論文(以下文献2)と略す)に詳しく述べられている。本発明はMQW層に垂直、水平方向の電界を併用することにより変調の効率を高めるものであるから、ここですでにMQW層に水平な方向の電界の効果について説明する。

MQWの層に水平な面内ではエキシトンが2次元的な水素原子に類似した形で存在している。従って通常の水素原子と同様にエキシトンを形成するホール、電子の間にはクーロン相互作用が働いている。MQW層に水平な方向の電界はMQWの

ことができる。MQW層に水平、垂直方向の電界の効果を併用するためにはMQW層に斜めに電界を印加するのが有効である。例えばMQW層に45°傾けて電界を印加すればMQWに水平、垂直な方向の電界成分はそれぞれ印加電界強度の $1/\sqrt{2}$ になる。簡単のためMQWに水平、垂直な方向の電界が光変調度と同程度に寄与するとし両方向の電界が単に相加的としても、斜め電界により、MQWに水平、若しくは垂直方向のみに電界を印加した場合に比べ変調の効率を $2 \times 1/\sqrt{2} = \sqrt{2}$ 倍高めることができる。従って同一変調度を得るのに必要な電圧を小さくでき、小形、高消光比、低電圧の変調器が可能となる。

以下本発明につき実施例により詳細に説明する。  
(実施例)

第1図は本発明による光制御素子の第1の実施例を示すものである。第1図を用いてまず本実施例の製作方法について説明する。ここではAlGaAs/GaAs系の半導体材料を用いた場合について説明するが本発明がこの材料に限定されるものではない。

域34a, 34bの中間部分36はチャンネル光導波路となる。最後に $p^+$ -拡散領域34a, 34b、及び $n^+$ -GaAs基板1にそれぞれオーム性電極35a, 35b, 36を形成し光の入出射用端面をマイクロクリープ若しくはドライエッチングにより製作し端面に無反射コートを施す。光の導波路長は波〜数10  $\mu\text{m}$ とした。

次に本実施例の動作について説明する。チャンネル光導波路36にはi-多重量子井戸構造6中のエキシトン共鳴吸収波長近傍の光を導波する。電極、35a若しくは35bと36の間に逆バイアス電圧を印加すると $p^+$ -拡散領域34a, 34bのフロント部分には空乏層が形成されその空乏層中に電界が働く。ここでチャンネル光導波路36は $p^+$ -拡散領域34a, 34bのエッジ近傍に位置しており、導波光にはエピタキシャル増厚方向から傾いた電界がかかる。従って先に述べたように多重量子井戸構造の各層に水平、垂直方向の電界の効果が併用でき低電圧で変調動作が可能となる。しかも拡散フロントのエッジ部分の電界強度は~~拡散領域~~

いことは言うまでもない。

(100)  $n^+$ -GaAs基板1の上に $n^+$ -GaAsバッファ層2 (Siドーブ、厚み $\sim 1 \mu\text{m}$ ) i-AlGaAsクラッド層30 (厚み $\sim 0.6 \mu\text{m}$ )、i-多重量子井戸層6、i-AlGaAsバッファ層31 (厚み $\sim 0.6 \mu\text{m}$ )、i-AlGaAsキャップ層32 (厚み $\sim 0.5 \mu\text{m}$ )を分子線エピタキシャルMBE法により成長する。i-多重量子井戸層6は厚み $\sim 100 \text{\AA}$ のGaAsウェル、AlGaAsバリアの10回繰り返しがら成り、全層厚は $\sim 0.21 \mu\text{m}$ である。AlGaAsのAlモル比は0.3である。このようにして製作したウェハに2本の近接して平行なギャップを有するSiO<sub>2</sub>マスク33を介してZnの拡散を行なう。この時、拡散のフロントをi-AlGaAsクラッド層31中若しくはi-多重量子井戸層6で止めるように制御する。拡散による $p^+$ -領域はプラズマ効果により屈折率が低下し、更に、i-多重量子井戸層6中の拡散領域では多重量子井戸構造がくずれウェルとバリアの中間的組成のAlGaAsとなるため、更に屈折率が低下する。従ってi-多重量子井戸層6の $p^+$ -拡散領

~~域のエッジ部分の電界強度は~~一般に拡散フロント中心部分に比べて高いため一層の低電圧化が可能となる。電圧の印加方法としてはp側電極の35a, 35b片方を用いてもよいし、両方を短絡して用いてもよい。

第2図は本発明の第2の実施例を示すものである。本実施例では多重量子井戸構造を光導波路として用いず、多重量子井戸構造を切換るように光を伝搬させる例を示している。第2図を用いてまず本実施例の製作方法について説明する。ここではAlGaAs/GaAs系材料を用いた場合につき説明する。(100)  $n^+$ -GaAs基板1上に $n^+$ -GaAsバッファ層2、 $n^+$ -AlGaAsエッチストップ層3、 $n^+$ -AlGaAsバッファ層41をまず成長する。成長はMBE法以外の成長法を用いてもよい。次にi-AlGaAsバッファ層中に化学エッチングにより斜めのすりばち状の表面を持つ穴41aを形成する。穴41aを形成したウェハにMBE法によりi-AlGaAsバッファ層42、i-多重量子井戸層6、i-AlGaAsバッファ層43、i-GaAsコンタクト層44をMBE法によ

り成長する。この際MBE法では成長速度に異方性が無いため穴41aの形状に従って各層が成長される。次にi-GaAsコンタクト層44にTi, Pt, Au等のショットキー電極10aを形成しそれをマスクとして円柱状に $n^+$ -GaAs基板1をメサエッチングを行なう。最後にショットキー電極10a中央に光透過用の穴を明け、基板側にはオーム性電極11を形成し光の透過部の基板を $n^+$ -AlGaAsエッチストップ層3の途中迄除去する。

次に本実施例の動作について説明する。本実施例では被変調光20aは基板に垂直に入射し、変調光20bとして取り出される。被変調光の波長はi-多重量子井戸層6中のエキシトン共鳴吸収波長近傍に設定する。ショットキー電極10aと電極11の間に逆バイアスを印加するとショットキー電極10aと $n^+$ -AlGaAsコンタクト層40間に電界がかかるがi-多重量子井戸層6が基板1に傾いているため電界は多重量子井戸層に対して傾いて印加される。従って先に述べたように多重量子井戸構造の各層に水平、垂直な方向の電界の効果が併用

作を説明するための図である。図に於て、1、2、3、4、5、6、7、8、9、30、31、32、34a、34b、40、41、42、43、44は半導体、10、10a、11、35a、35bは電極、33は $\text{SiO}_2$ 、20a、20bは光、41aは穴、36はチャンネル導波路である。

代理人 内原 晋



でき、動作の電圧が可能となる。電界印加手段としてはp-i-n構造を用いてもよい。

以上の実施例では材料としてAlGaAs/GaAs系を考えたが、InGaAsP/InP、InAs-GaSb系等の多重量子井戸構造を用いてもよい。また実施例では光の変調動作についてのみ述べたが同様な構造により光安定素子（雑誌「アプライド・フィジクス・レターズ（Applied Physics Letters）」第45巻、1984年、13～15頁）等も実現可能で、その際も本発明を適用することにより動作の低消費パワー化が可能となる。

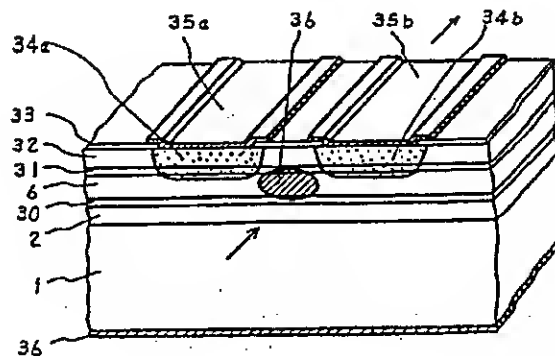
（発明の効果）

以上説明したように本発明によれば小型で、低電圧で超高速、高変調度の光変調が可能な光制御素子が得られる。

#### 4. 図面の簡単な説明

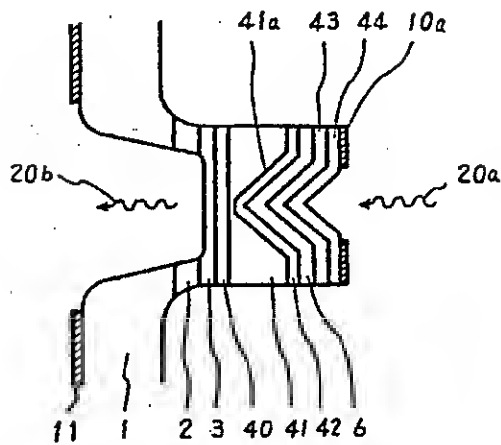
第1図、第2図は本発明による光制御素子の第1、第2の実施例を示す図、第3図、第4図、第5図、第6図は従来既知の光制御素子の構造、動

第1図



- 1:  $n^+$ -GaAs基板
- 2:  $n^+$ -GaAsバッファ層
- 6: i-多重量子井戸層
- 34a, 34b:  $P^+$ 拡散領域
- 36: チャンネル光導波路

第 2 図

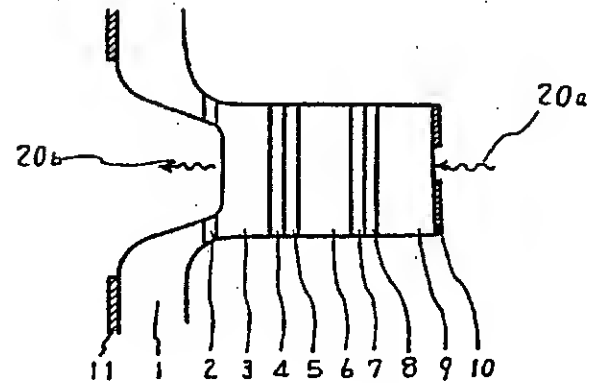


41: i-AlGaAs バッファ層

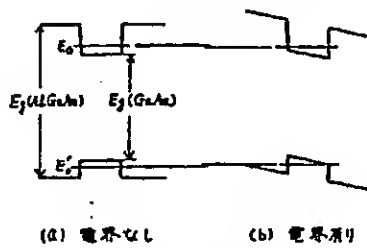
41a: 欠

10a: ショットキ-電極

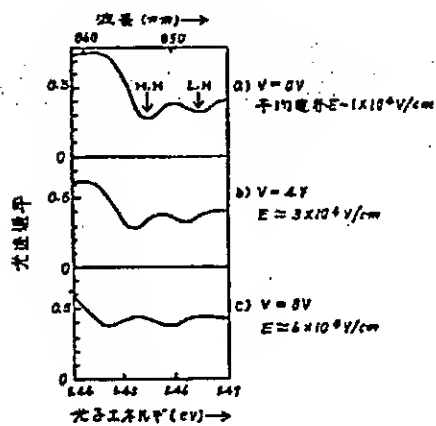
第 3 図



第 4 図



第 5 図



第 6 図

